

8. Газы в цветных металлах и сплавах / Д. Ф. Чернега, О. М. Бялик, Д. Ф. Иванчук, Г. А. Ремизов. – М.: Металлургия, 1982. – 176 с.
9. Альтман М. Б. Неметаллические включения в алюминиевых сплавах. – М.: Металлургия, 1965. – 127 с.
10. Постников Н. С., Черкасов В. В. Прогрессивные методы плавки и литья алюминиевых сплавов. – М.: Металлургия, 1973. – 224 с.
11. Газы и окислы в алюминиевых деформируемых сплавах / В. И. Добаткин, Р. М. Габидуллин, Б. А. Колачев и др. – М.: Металлургия, 1976. – 263 с.
12. Мархасев Б. И. О контактных процессах на границе расплавленного металл–окисел // Расплавы. – 1987. – № 1. – С. 60-63.
13. Егоров М. М. О природе поверхности каталитически активной окиси алюминия // Докл. АН СССР. – 1961. – № 2, т. 140. – С. 401-404.
14. Топчиева К. В., Московская Н. Ф. Хемосорбция водорода на алюмосиликатах и окислах алюминия и кремния // Вестник МГУ. Химический раздел. – 1960. – № 2. – С. 22-26.
15. Флюсовая обработка и фильтрование алюминиевых расплавов / А. В. Курдюмов, С. В. Инкин, В. С. Чулков, Н. И. Графас – М.: Металлургия, 1980. – 196 с.
16. Ветчинкина Т. Н. Исследование физико-химических свойств оксида алюминия, полученного щелочным и кислотным способами // Металлы. – 2009. – № 2. – С. 30-40.
17. Пименов Ю. П. Изучение чистоты алюминия по неметаллическим включениям при обработке его в жидком состоянии // Технология легких сплавов (ВИЛС). – 1967. – № 2. – С. 29-36.
18. Курдюмов А. В. Очистка сплавов цветных металлов от взвешенных неметаллических включений и растворенного водорода // Литейн. пр-во. – 1970. – № 5. – С. 4-6.
19. Найдек В. Л., Наривский А. В. Повышение качества отливок из алюминиевых и медных сплавов плазмореагентной обработкой их расплавов. – Киев: Наук. думка, 2008. – 184 с.

Поступила 07.02.2011

УДК 669.18.621.764.047

**В. Н. Баранова, Р. Я. Якобше, В. Л. Найдек,  
О. В. Носоченко\*, З. Л. Козлова, О. И. Майко**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев  
\*ОАО «Азовсталь», Мариуполь

## **ВЛИЯНИЕ ГАЗОИМПУЛЬСНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ НА ЗАГРЯЗНЕННОСТЬ МЕТАЛЛА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ**

*Исследовано влияние различных режимов газоимпульсного перемешивания жидкого металла в изложнице и кристаллизаторе МНЛЗ на загрязненность слитков и непрерывнолитых слябов неметаллическими включениями. Установлено, что оптимальные режимы перемешивания жидкого металла эффективно способствуют регулированию и образованию благоприятной формы, размера, количества и равномерного распределения неметаллических включений в заготовках.*

**Ключевые слова:** газоимпульсное перемешивание, неметаллические включения, слиток, непрерывнолитой сляб, жидкий металл.

*Досліджено вплив різних режимів газоімпульсного перемішування рідкого металу в виливниці та кристалізаторі МБЛЗ на забрудненість зливків і безперервнолитих слябів неметалевиими*

## Получение и обработка расплавов

включениями (НВ). Встановлено, що оптимальні режими перемішування рідкого металу ефективно забезпечують регулювання та утворення сприятливої форми, розміру, кількості і рівномірного розподілу неметалевих включень в заготовках.

**Ключові слова:** газоімпульсне перемішування, неметалеві включення, зливки, безперервнолитої сляб, рідкий метал.

*The effect of various modes gazimpuls stirring of liquid metal in a chill and in a mold of continuous caster on pollution of ingots and continuously cast slabs by non-metallic inclusions is investigated. It is established that the optimal modes of liquid metal stirring effectively contribute to the regulation and the formation of a favorable shape, size, quantity, and uniform distribution of nonmetallic inclusions in the slabs.*

**Keywords:** gazimpuls stirring, nonmetallic inclusions, ingot, continuously cast slab, liquid metal.

В настоящее время металлурги большое внимание уделяют проблеме производства «чистой» стали, что связано с возрастанием требований потребителей стального проката к его качественным показателям (повышению требований УЗК). Главным критерием таких показателей является степень чистоты стали по неметаллическим включениям (НВ): количество, природа, размер, форма и характер распределения их в металле. Эти показатели являются одной из основных характеристик стали и важным фактором, с помощью которого можно улучшить качество литого металла, управлять его физико-механическими свойствами и снять проблему препятствий широкого применения металла ответственного назначения.

В этом направлении весьма перспективным является технологический процесс перемешивания жидкого металла, так как он непосредственно связан с активным вмешательством в кристаллизацию, оказывает влияние на условия теплопередачи, интенсифицирует процессы диффузии, способствует коагуляции и всплыванию НВ [1]. К таким работам, применяемым в последнее время, относится газоимпульсное перемешивание жидкого металла в ковше, изложнице и кристаллизаторе МНЛЗ.

В настоящей работе исследовано влияние различных режимов газоимпульсного перемешивания жидкого металла в изложнице и кристаллизаторе МНЛЗ на возможность эффективного регулирования неметаллической фазы в процессе производства стальных слитков и непрерывнолитых заготовок.

Опытно-промышленные испытания технологического процесса газоимпульсного перемешивания жидкого металла в изложницах и кристаллизаторе МНЛЗ проведены в промышленных условиях конвертерного цеха ОАО «МК «Азовсталь». Жидкую сталь перемешивали при помощи специальных установок и оборудования, разработанных и изготовленных ФТИМС НАН Украины совместно с металлургическим комбинатом «Азовсталь» [2]. Комплекс исследований по изучению влияния газоимпульсного перемешивания жидкого металла в слитках и кристаллизаторе МНЛЗ на загрязненность заготовок неметаллическими включениями и их качество проведен в ФТИМС НАН Украины. Для исследования отбирали продольные и поперечные темплеты на трех уровнях по высоте контрольных и опытных листовых и кузнечных слитков массой 15,7; 16,4; 20 т и поперечные темплеты непрерывнолитых слябов сечением 250x1650, 300x1850 мм низкоуглеродистой, низколегированной и нержавеющей стали марок СтЗсп, 20 Л, 17ГСПУ, 09Г2ФБ, 08Х18Н10Т и др. Газоимпульсное перемешивание жидкого металла в изложницах проводили в течение 10, 20, 30, 90 и 120 мин, а в кристаллизаторе – МНЛЗ в процессе всей разливки. Оценку загрязненности металла силикатами, сульфидами, нитридными включениями проводили по ГОСТу 1778-80 (сравнением с эталонными шкалами), а соответствие листового проката (ГОСТ 22727, SEL072) – ультразвуковым методом (УЗК) на установке ДУЭТ-5 толстолистового стана «3600» ОАО «МК «Азовсталь».

Контроль загрязненности неметаллическими включениями листового проката проводили также по результатам УЗК.

Результаты ранее выполненных исследований качества опытного металла, подвергающегося перемешиванию как в изложницах, так и кристаллизаторе МНЛЗ [2, 3], выявили существенное отличие по сравнению с качеством металла, разливаемого без перемешивания. Опытный металл слитков и непрерывнолитых слябов более плотный и однородный по высоте и сечению заготовок, химическая ликвация в нем развита слабо, а микроструктура мельче в 3-5 раз по сравнению с контрольным. Изменения содержания серы и углерода на всех уровнях по высоте опытных слитков незначительные, наиболее однородный по химическому составу металл среднего и донного горизонтов. В опытных слитках сера распределена достаточно равномерно, тогда как в контрольных, особенно в районе осевой трещины, выявлена ее высокая концентрация. В контрольных непрерывнолитых слябах в местах внутренних и газообразных трещин обнаружена также повышенная концентрация серы. В металле опытных слитков и непрерывнолитых слябов такие дефекты не выявлены, а осевые зоны отличаются повышенной однородной пластичностью и отсутствием ярко выраженной центральной трещины.

Природу, форму, размер и распределение неметаллических включений в металле опытных и контрольных слитков и непрерывнолитых заготовок изучали металлографическим способом на микрошлифах, вырезанных из темплетов по высоте и сечению слитков, а для непрерывнолитого сляба – по всему сечению. Следует отметить, что в указанных выше исследуемых марках стали обычной выплавки и разливки встречаются эвтектические, цепочкообразные, пленочные, групповые скопления сульфидов, оксидов, оксисульфидов размером от 10 до 150 мкм (особенно в осевой зоне непрерывнолитых слябов, а также центральной и донной частях по высоте слитка и, как правило, расположенных неравномерно).

Результаты металлографических исследований контрольного и опытного металла с применением газоимпульсного перемешивания в слитке и кристаллизаторе МНЛЗ показали, что перемешивание жидкого металла оказывает значительное влияние на количество, размер, форму и распределение неметаллических включений. Так, характерная точечная неоднородность, присутствующая в контрольном металле непрерывнолитых слябов на расстоянии 40–45 мм от грани малого радиуса, связана, как правило, с накоплением неметаллических включений и газов при формировании непрерывнолитых заготовок в опытных слябах после газоимпульсного перемешивания, слабо развита и располагается на расстоянии 30 мм от поверхности в виде мелких рассредоточенных точек. Установили, что включения окислов, сульфидов, оксисульфидов, силикатов размером более 20 мкм, выявленных в контрольном металле слитков и слябов, уменьшаются в опытном металле в десятки раз. Повидимому, в процессе перемешивания жидкого металла в слитках они всплывают в прибыльную часть, а при формировании непрерывнолитой заготовки – в шлаковую зону, что подтверждено исследованиями макроструктуры и серных отпечатков слитков и непрерывнолитых заготовок [2].

Как показали исследования, размер, форму и распределение неметаллических включений в объеме металла определяли различные технологические режимы газоимпульсного перемешивания жидкого металла в изложнице и кристаллизаторе МНЛЗ (время обработки составляло 10, 20, 30, 90 и 120 мин).

Важно отметить, что при всех режимах перемешивания природа включений не изменяется. Газоимпульсное перемешивание жидкого металла наиболее существенное влияние оказывает на размер, форму и распределение НВ в металле слитков и слябов. Так, было установлено значительное уменьшение эвтектических и пленочных образований сульфидных включений при режимах перемешивания в течение 20, 30 мин, а при увеличении обработки металла до 120 мин сульфиды такой

## Получение и обработка расплавов

формы обнаруживаются в единичных случаях, а в большинстве опытных образцов они вовсе отсутствуют (рис. 1). Количество включений размером более 10 мкм при этом режиме обработки также резко уменьшается, а металл донной части опытных слитков по содержанию и мелкодисперсности НВ особо чист. В контрольном металле слитков и непрерывнолитых слябов НВ распределены неравномерно, от поверхности к центру заготовок их размер увеличивается. В опытном металле на поперечных темплетах слитков и слябов разница в размере включений от поверхности к центру резко уменьшается и во всем объеме металла обнаружено равномерное их распределение. В головной части опытных слитков отмечено увеличение количества НВ, что связано с их всплыванием при интенсивном перемешивании металла. Установлено, что газоимпульсное перемешивание позволяет значительно повысить дисперсность НВ, а при формировании первичной структуры обеспечивает их благоприятную форму. Основная форма образовавшихся неметаллических включений в опытном металле овальная и глобулярная (рис. 2) размером до 1-2 мкм и меньше, которые равномерно рассредоточены в структурных зонах слитков и непрерывнолитых заготовок. Кроме того, перемешивание жидкого металла позволяет трансформировать легкоплавкие сульфиды II группы (особенно характерные для осевой зоны) в сульфиды I и III типов, что обеспечивает измельчение микрострук-

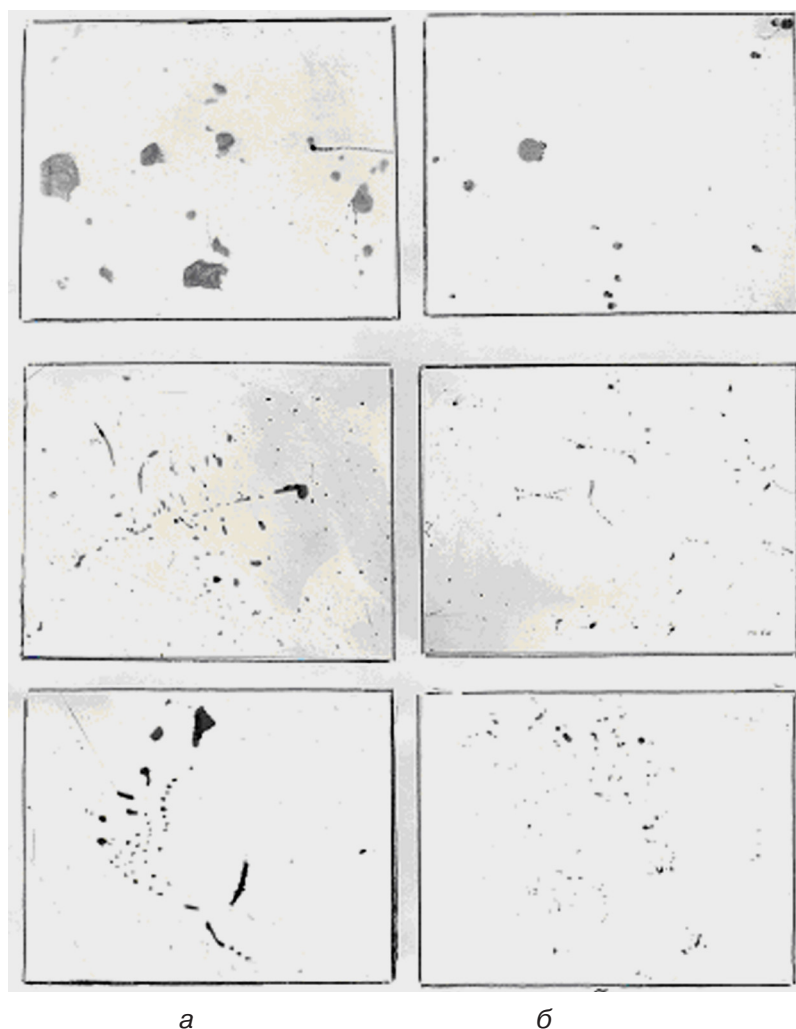


Рис. 1. Неметаллические включения в непрерывнолитом слябе стали 09Г2ФБ: а – контрольный; б – опытный, х500

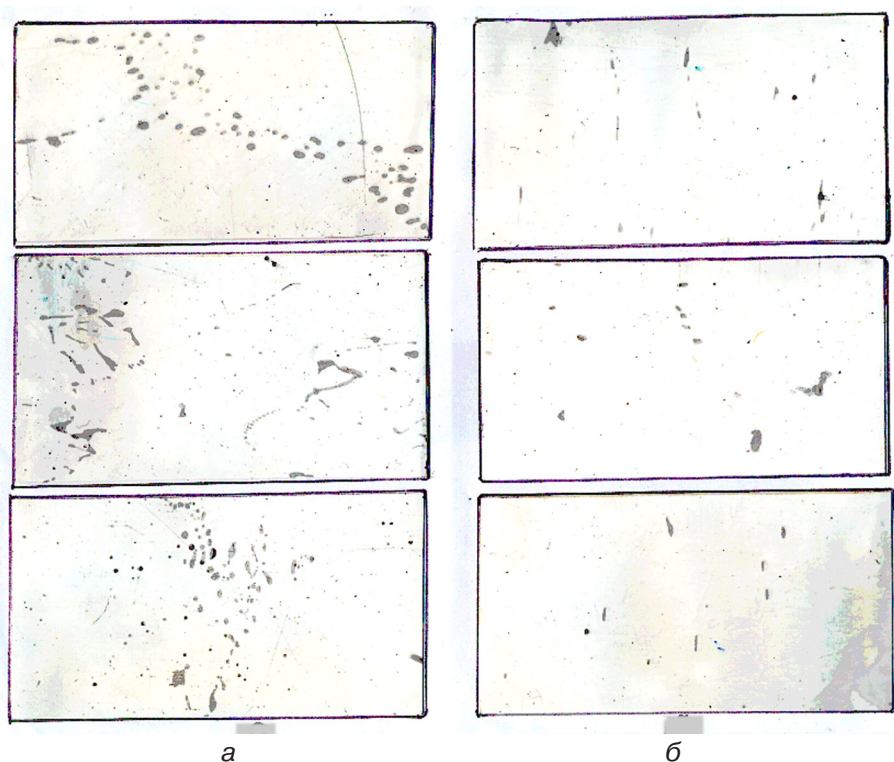


Рис. 2. Неметаллические включения в слитке массой 20 т стали марок СтЗсп и 20Л: а – контрольный; б – опытный, х500

туры стали за счет барьерного действия дисперсных включений [4]. В осевой зоне опытных непрерывнолитых слябов происходит более раннее завершение формирования неметаллических включений благоприятной формы и их измельчение, что позволяет значительно сократить дефекты центральной зоны. Прокатка опытного металла на толстый лист показала, что газоимпульсное перемешивание жидкого металла в кристаллизаторе МНЛЗ позволяет получить плотный металл центральной зоны заготовки, полностью исключить отбраковку листа при УЗК по дефектам типа расслой, трещины и скопления неметаллических включений [2].

Поэтому, оценивая общую закономерность влияния газоимпульсного перемешивания жидкого металла на НВ, следует отметить важность выбора рациональных параметров перемешивания, вызывающих умеренную турбулизацию расплава и обеспечивающих ламинарное перемещение потоков стали и интенсивность теплоотвода от затвердевающей заготовки, а также способствующих коагуляции и всплыванию НВ.

Результаты оценки механических свойств опытного металла слитков и непрерывнолитых заготовок [5, 6] показали их высокий уровень, значительное снижение анизотропности и наиболее высокие прочностные характеристики по сравнению с контрольным металлом, что объясняется значительным уплотнением металла при его перемешивании, формированием однородной и мелкодисперсной микроструктуры, благоприятной формой, размером и равномерным распределением НВ в металле заготовок.

Таким образом проведенные исследования с учетом данных ранее выполненных работ показали, что при оптимальном режиме газоимпульсного перемешивания жидкого металла в изложнице и кристаллизаторе МНЛЗ благоприятно изменяются форма, размер, количество и распределение НВ в металле слитков и непрерывно-

литых заготовок, дисперсность зерен повышается в 5-10 раз, а их границы более чистые от примесей, что позволяет значительно снижать брак заготовок и листового проката по трещинам, расслою, осевой неоднородности, неметаллическим включениям и повышать уровень механических свойств сталей ответственного назначения.



### Список литературы

1. Ефимов В. А. Разливка и кристаллизация стали. – М.: Металлургия, 1976. – 552 с.
2. Влияние газоимпульсного перемешивания жидкого металла на качество слитков и непрерывнолитых слябов / В. Н. Баранова, Р. Я. Якобше, В. Л. Найдек и др. // Процессы литья. – 2010. – № 6. – С. 20-27.
3. Эффективность газоимпульсного перемешивания стали в процессе формирования слитка / Р. Я. Якобше, Н. Ф. Наконечный, В. А. Ефимов и др. // Процессы литья. – 1993. – № 3. – С. 42-47.
4. Скок Ю. Я., Якобше Р. Я., Баранова В. Н. Влияние физических и физико-химических воздействий на процессы структурообразования слитков и непрерывнолитой стали // 50 лет в Академии наук Украины: ИЛП, ИПЛ, ФТИМС. – Киев: Процессы литья, 2008. – С. 413-422.
5. Влияние газоимпульсного и электромагнитного перемешивания в процессе затвердевания на прочностные свойства литого металла / В. Н. Баранова, Р. Я. Якобше Г. И. Касьян и др. // Процессы литья. – 2008. – № 3. – С. 60-63.
6. Внешние воздействия на кристаллизацию и механические свойства литого и деформированного металла / В. Н. Баранова, Р. Я. Якобше, Ю. Я. Скок и др. // Там же. – 2005. – № 4. – С. 48-53.

Поступила 22.02.2011

УДК 669.162.221:621.78.062

**Е. А. Рейнталь, В. П. Лихошва, В. В. Савин\*,  
Л. А. Бондарь, А. Н. Тимошенко, Р. С. Надашкевич**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

\*Запорожская областная академия последипломного педагогического образования, Запорожье

## **ИЗМЕНЕНИЕ ГАЗОВОЙ КАВЕРНЫ ПРИ ПОГРУЖЕНИИ ФУРМ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ЖИДКИЕ СРЕДЫ**

*Рассмотрены процессы формирования каверн при заглублении газовых потоков в жидкие среды. Исследованы изменения форм и размеров рабочих зон каверн в зависимости от изменения параметров газового потока.*

**Ключевые слова:** каверна, газовый поток, фурма.

*Розглянуті процеси формування газових каверн при зануренні газових потоків у рідкі сере-*